

## **Las micotoxinas en la alfalfa y sus ensilados: todo un mundo aún por explorar.**

Antonio J. Ramos\*, Vicente Sanchis, Francisco Molino y Sonia Marín

Unidad de Micología Aplicada, Departamento de Tecnología de Alimentos, AGROTECNIO-CERCA Center, Universidad de Lleida, Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida, España.

\*Corresponding author: [antonio.ramos@udl.cat](mailto:antonio.ramos@udl.cat)

POSTPRINT

Por lo general, se considera que el nacimiento de la micotoxicología moderna se sitúa a principios de la década de los años sesenta del pasado siglo, cuando se aisló e identificó por primera vez un grupo de compuestos químicos producidos por mohos, las denominadas aflatoxinas, que eran capaces de ejercer efectos tóxicos graves en animales de granja (Blount, 1961). Posteriormente, se han descubierto y caracterizado más de cuatro centenares de compuestos que responden a la definición clásica de micotoxinas, según la cual se trata de metabolitos secundarios de origen fúngico que ejercen su efecto tóxico en el hombre o los animales al ser ingeridos, inhalados o cuando entran en contacto directo con la piel (Marin y cols, 2013).

Desde entonces, la investigación en el campo de las micotoxinas ha sido intensa, habiéndose establecido de una forma inequívoca su relación con diversas materias primas de origen vegetal, y muy especialmente con los cereales, los frutos secos y las especias, cuando son objeto del crecimiento fúngico y se dan las condiciones adecuadas para la producción de las toxinas. No obstante, la alfalfa en particular, y los ensilados en general, han sido objeto de muy poca investigación, por lo que los datos sobre su incidencia real en este tipo de productos son escasos, y el alcance del problema que puede suponer la presencia de estos compuestos tóxicos en estas materias primas está todavía por determinar de una forma concluyente.

Las micotoxinas son producidas por el crecimiento de hongos filamentosos en las materias primas de origen vegetal, especialmente por mohos de los géneros *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, aunque son también importantes las toxinas producidas por especies de *Alternaria* y *Claviceps*. Los efectos tóxicos que estos compuestos pueden ejercer son muy variados y dependen, entre otros factores, de la dosis ingerida, de la duración de la exposición al tóxico, de la especie animal afectada y de su edad. Por lo general, en intoxicaciones crónicas, suelen repercutir en la disminución de los parámetros productivos y en un estatus inmunitario deprimido que hace proclive a los animales a sufrir otras enfermedades. La principal finalidad del cultivo de alfalfa es servir de alimento para los rumiantes. La Tabla 1 muestra los efectos tóxicos más importantes de las principales micotoxinas en este tipo de ganado.

Hay que tener en cuenta que cuando hablamos de micotoxinas estamos refiriéndonos a un conjunto de compuestos químicos de origen biológico con estructuras químicas y modos de acción de lo más diverso. Las principales micotoxinas (Figura 1), por su toxicidad y por la frecuencia con la que se encuentran en las materias primas de origen vegetal son las aflatoxinas (AFs), la ocratoxina A (OTA), la patulina (PAT), la zearalenona (ZEN), las fumonisinas (FBs), el deoxinivalenol (DON), la citrinina (CIT) y las toxinas T-2 y HT-2, todas ellas con niveles máximos permisibles legislados en la UE en diferentes tipos de materias primas y alimentos destinados al consumo humano. No obstante, en la alimentación animal la situación es completamente diferente. Por el momento, solo una micotoxina tiene legislados sus niveles máximos en alimentación animal en la UE, la aflatoxina B<sub>1</sub> (AFB<sub>1</sub>) (con un máximo de 20 µg/kg en las materias primas para piensos; Reglamento (UE) nº 574/2011), considerada como el agente cancerígeno de origen natural más potente conocido hasta el momento. Para el resto de micotoxinas (OTA, ZEN, FBs, DON, T-2/HT-2) solo existen recomendaciones comunitarias para diferentes materias primas (que no incluyen la alfalfa) y piensos (Recomendaciones 2006/576/CE y 2013/165/CE). El hecho de que estas toxinas no estén legisladas en la alimentación animal no excluye que puedan entrar en la cadena

alimentaria humana por la vía de su bioacumulación en diferentes órganos o tejidos que son posteriormente consumidos por el hombre, o por su presencia en productos procedentes de los animales, como la leche o los huevos.

Para complicar un poco más el panorama, hay que señalar otros factores que hacen que el problema sea aún más complejo. Por una parte, en diferentes animales se ha descubierto que la coexistencia de más de una micotoxina en un pienso puede generar sinergias perniciosas, observándose efectos negativos superiores a lo esperado teniendo en cuenta la toxicidad individual de cada micotoxina (Gimeno y Martins, 2011).

Por otra parte, se ha visto que existe todo un conjunto de micotoxinas relacionadas con las micotoxinas principales que se han venido a denominar “micotoxinas modificadas”, y que derivan de las micotoxinas principales cuya estructura ha cambiado por diversos factores, como el metabolismo de la planta sobre la que el moho se desarrolla, el procesado de los alimentos, o incluso porque directamente son producidas así por el moho. Estas formas suelen ser indetectables por las técnicas analíticas convencionales, pero pueden todavía ejercer su efecto tóxico en los seres humanos o animales, especialmente si regenera la forma parental una vez ingresan en el tracto gastrointestinal (Freire y Sant’Ana, 2018). Las modificaciones que suelen sufrir estas formas de micotoxinas suelen ser glicosilaciones, acetilaciones, hidroxilaciones, uniones a grupos sulfato, etc.

Por último, y con el desarrollo de nuevas técnicas de análisis más sensibles, se ha descubierto todo un conjunto de micotoxinas que se han catalogado como “micotoxinas emergentes” y entre las que se encuentran las enniatinas (ENNs), la beauvericina (BEA), la fusaproliferina o la moniliformina. Actualmente, dichas micotoxinas emergentes están siendo objeto de una intensa investigación (Rossi y cols., 2020).

Si a todo esto le añadimos que las micotoxinas son por lo general muy difíciles de eliminar de los alimentos debido a su elevada termorresistencia, y que con el cambio climático se ha visto que el patrón de producción de micotoxinas está variando geográficamente (por ejemplo, en España se están dando más casos de producción de AFs que hace unas décadas) (Battilani y cols., 2016), podemos comprender fácilmente que estamos frente a un problema multifacético de difícil solución.

De entre los vegetales destinados a la alimentación animal, los que se ven afectados más por las micotoxinas son, sin duda, los cereales, pero otras materias primas como la semilla de algodón, la pulpa de remolacha, la paja, el heno, la alfalfa y los ensilados, incluido el ensilado de alfalfa, también pueden ser una fuente de micotoxinas.

En el caso concreto de la alfalfa, hay que reconocer que, a nivel mundial, no son demasiados los estudios que se han realizado sobre la contaminación por micotoxinas de este vegetal, y que por lo general se han encontrado niveles de micotoxinas relativamente bajos en la mayoría de los trabajos realizados. En España destaca la falta de información sobre la contaminación por micotoxinas en la alfalfa nacional, ya que casi no existen estudios publicados al respecto.

En 1992 Skrinjar y cols. detectaron contaminación por OTA en alfalfa fresca y deshidratada, siendo uno de los primeros trabajos sobre contaminación por micotoxinas en este producto.

En 1998, Gaggiotti y cols. describieron contaminaciones por DON en alfalfa de Argentina con niveles que variaban entre 1-2 mg/kg en rollos de pastura con base alfalfa en los que, además, se aisló *Fusarium* sp. La conservación de dichos rollos fue incorrecta ya que se permitió que tuvieran un porcentaje de humedad de hasta un 25%. En el mismo país, Amigot y cols. (2006) describieron una contaminación por AFs totales (3,75 µg/kg de media, intervalo 1,40-11,80 µg/kg) y DON (187 µg/kg de media, intervalo 100-2000 µg/kg) en piensos con base alfalfa. Hay que destacar que se analizaron 49 muestras y de ellas 67,3% tenían AFs, 49% tenían DON, y en un 40% de las mismas se daba copresencia de ambas toxinas.

Posteriormente, Naicker y cols. (2007) describieron la presencia de micotoxinas en una muestra de pienso para vacas a base de alfalfa en Sudáfrica. Los niveles de micotoxinas observados fueron de 2,3 µg AFs/kg, 464,9 µg ZEN/kg y 1,2 mg FBs/kg. La contaminación por ZEN encontrada estaba muy cerca de los 500 µg ZEN/kg máximos recomendados en la UE para alimentación de ganado vacuno. Por su parte Marqués y cols. (2008) no encontraron ni ZEN ni DON en ninguna de las 7 muestras de alfalfa analizadas en Portugal.

En 2011, Tan y cols. describieron en Australia que una cepa de *Fusarium sambucinum* aislada de alfalfa era capaz de producir grandes cantidades de toxina T-2, así como de toxina HT-2 y diacetoxiscirpenol (DAS), al ser inoculada en caldo Czapek-Dox suplementado con un 1% de peptona, lo que pone en evidencia el riesgo que supone una conservación inadecuada de esta materia prima en el caso de estar contaminada con cepas potencialmente productoras de micotoxinas.

Borges y cols. describieron en 2012 en Brasil cómo 28 caballos alimentados con alfalfa contaminada con eslaframina (1,5 mg/kg), un alcaloide producido por el hongo *Rhizoctonia leguminicola*, sufrían de una excesiva salivación. La eslaframina es una micotoxina que muestra una similitud estructural con la acetilcolina y tiene un efecto parasimpático mimético en las glándulas exocrinas, particularmente en las glándulas salivares y en el páncreas, aunque puede causar otros síntomas como diarrea, anorexia, aumento en la producción de orina, excesivo lagrimeo, cólicos y abortos.

En Polonia, Dorszewski y cols. (2013) encontraron solo pequeñas cantidades de DON en muestras de ensilado de alfalfa, mientras que en ese mismo país Twarużek y cols. (2016) no detectaron contaminación por micotoxinas en ninguna de las 12 muestras de ensilado de alfalfa analizadas.

En México, entre 2013 y 2014 se recogieron 40 muestras de alfalfa para alimentación animal, observando contaminación por ZEN y toxina T-2 en el 100% de las muestras (Huerta-Treviño y cols., 2016). Con respecto a las micotoxinas OTA, DON, AFs, y FBs los porcentajes de contaminación fueron del 97,5%, 92,5%, 62,5% y 55%, respectivamente. Fue significativo encontrar que un 37,5% de las muestras presentaron la totalidad de las micotoxinas anteriormente citadas, y todas las muestras contenían al menos 2 micotoxinas. Por lo tanto se confirma que la multicontaminación es más la norma que la excepción.

Hodulíková y cols. (2016) estudiaron la presencia de micotoxinas en ensilados de alfalfa en la República Checa, determinando que en estos productos se encontraban contaminaciones por DON de entre 101,9 a 131,5 µg/kg, y niveles de ZEN de entre 0,37 a 0,54 µg/kg. El contenido de micotoxinas en estos ensilados no se vio afectado por la presencia de conservantes biológicos o químicos, pero sí por el estado de marchitez de la planta al ensilar. En el mismo país, Skladanka y cols. (2017) encontraron DON y ZEN en ensilados de alfalfa en niveles que variaron entre 388-451,7 µg/kg y 115,4-125,1 µg/kg, respectivamente.

En China, se han descrito contaminaciones por micotoxinas en ensilados de alfalfa que dependían del tipo de bacteria acidoláctica que se empleaba en el proceso de ensilado, pero que en el producto final variaban entre 39-107 µg/kg para las AFs, 11-29 µg/kg para el DON y 46-97 µg/kg para la ZEN (Bao y cols., 2016).

En 2018, Burkin y Kononenko, estudiando en Rusia la parte de la planta de alfalfa situada de 3 a 5 cm por encima del suelo encontraron, en 29 muestras de alfalfa contaminación por hasta 16 micotoxinas diferentes, siendo las más abundantes el alternariol y el ácido ciclopiazónico, presentes en todas las muestras, siendo esta última micotoxina la que se encontró en una mayor cantidad media (400 µg/kg). La OTA, AFB1, toxina T-2, FBs, ZEN, y DON estuvieron presentes en el 45, 28, 28, 24, 24 y 3% de las muestras, respectivamente, encontrándose también otras micotoxinas como la CIT, el DAS, los alcaloides del ergot, la roridina A, la esterigmatocistina, la emodina, el ácido micofenólico y la PR-toxina. Ese mismo año, Gonçalves y cols. describieron una muestra de alfalfa procedente del Sudeste asiático destinada a acuicultura contaminada con 5 micotoxinas diferentes (AFs, DON, ZEN, OTA, FBs), todas ellas a bajas concentraciones, siendo el DON la que presentaba el valor más alto (151 µg/kg) (Gonçalves y cols., 2018). Los datos publicados por Ogunade y cols. (2018) mostraron igualmente en Argentina que cuando se analizaban muestras de alfalfa procedentes de granjas donde había sospechas de micotoxicosis era frecuente encontrar micotoxinas, especialmente DON (900-4840 µg/kg), ZEN (43,9-1599,3 µg/kg) y AFs (7,1-30,5 µg/kg).

Recientemente, Ismail y cols. (2020), en un estudio sobre 29 henos de alfalfa procedentes de granjas lecheras de Jordania han descrito contaminación por DON, toxina T-2, ZEN, FBs y AFs en el 46%, 39%, 36%, 18% y 4% de las muestras, respectivamente. Destaca que el 29% de las muestras superaban los niveles máximos recomendados por la UE para la toxina T-2, que una muestra superaba el nivel máximo permitido para AFB1 (5,1 µg/kg) y la alta prevalencia de muestras contaminadas por DON, con valores que llegaron a alcanzar los 28,9 µg/kg.

En España, estudios realizados por nuestro grupo de la Unidad de Micología Aplicada de la Universidad de Lleida pusieron de manifiesto en la campaña 2013-2014 que el 90,9% de 22 muestras de alfalfa deshidratada española presentaban contaminación por alguna de las siguientes micotoxinas: AFB1, ZEN, DON, FBs, OTA y toxina T-2. De hecho, el 59,1% de las muestras fueron positivas para 5 de las 6 toxinas analizadas, siendo la coexistencia de AFB1, ZEN, DON, OTA y toxina T-2 lo más frecuente. El DON fue la toxina más frecuentemente encontrada (86,4% de las muestras, con niveles en el intervalo de 26,6 a 1025,05 µg/kg), y se hallaron muestras con hasta 17,9 µg/kg de AFB1 (Ramos, 2020).

En 2016-2017, también en España, se analizó la multicontaminación en muestras de alfalfa y se encontró que lo más habitual era que estas muestras presentaran al menos 4 micotoxinas (54% de las muestras en 2016 y 37% de las muestras en 2017) (Mazuelas, 2017). En esos dos años ninguna muestra se encontró libre de contener al menos una micotoxina de las estudiadas (AFB1, DON, FBs, T-2 y ZEN).

Posteriormente, Tolosa y cols. (2019), también en España, han descrito por primera vez la presencia de micotoxinas emergentes en alfalfa, encontrando enniatina B (75,6 µg/kg), enniatina B1 (113,2 µg/kg) y BEA (6,0 µg/kg), si bien el número de muestras analizadas, tan solo tres, fue muy bajo.

Por último, estudios realizados por la Unidad de Micología Aplicada de la Universidad de Lleida, detectaron AFB1 en 7 muestras de alfalfa deshidratada, 9 muestras de heno de alfalfa y 2 muestras de ensilado de alfalfa, con niveles de contaminación entre 0,14 y 4,66 µg/kg (Rodríguez-Blanco y cols., 2020). No obstante, poco después, los mismos autores no encontraron ninguna de las siguientes micotoxinas de *Fusarium* en 7 muestras de ensilado de alfalfa, DON, DON-3-glucósido, 3-acetil-DON, 15-acetil-ADON, ZEN, α-ZEN, β-ZEN, FB1 o FB2, aunque sí una muestra contaminada con aflatoxinas G<sub>1</sub> y G<sub>2</sub> (2,21 y 0,91 µg/kg, respectivamente) (Rodríguez-Blanco y cols., 2021).

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (documento D 2015-1 v1, aprobado en el seno de la Comisión Nacional en materia de Alimentación Animal), el principal peligro a controlar en los sistemas de autocontrol de la alfalfa (harina/concentrado proteínico o alfalfa deshidratada/henificada) es el DON, y en los ensilados, las FBs y la ZEN (MAPAMA, 2015).

Como ha podido observarse, los datos sobre la contaminación por micotoxinas en alfalfa y sus ensilados son escasos y están geográficamente muy dispersos. No existe un estudio histórico, profundo y completo de la problemática real que pueden causar estos compuestos tóxicos en la alfalfa de nuestro país, por lo que sería conveniente intensificar esfuerzos para determinar el grado de peligrosidad real que puede suponer la contaminación por micotoxinas de esta materia prima. Hay que tener en cuenta que algunos de estos metabolitos pueden acabar siendo excretados en la leche, como se ha demostrado en el caso de la aflatoxina B<sub>1</sub>, que puede ser transferida a la leche en forma de aflatoxina M<sub>1</sub> (con tasas de transferencia del 0.6-6%) (Rodríguez-Blanco y cols., 2020).

Por último, si no se establece una legislación específica al respecto, al menos deberían existir recomendaciones nacionales o comunitarias que establezcan cuáles deben ser los niveles máximos admitidos de estas toxinas en la alfalfa y sus derivados, y que tengan en cuenta, adicionalmente, la necesaria adecuación de dichos niveles en el caso de multicontaminación.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen la financiación obtenida a través del Ministerio Español de Ciencia, Innovación y Universidades (proyecto AGL2017-87755-R, MINECO/AEI/FEDER, UE).

## Bibliografía

- Amigot, S.L., Fulgueira, C.L., Bottai, H., and Basílico, J.C. 2006. New parameters to evaluate forage quality. *Postharvest Biology and Technology*, 41: 215-224.
- Bao, W., Mi, Z., Xu, H., Zheng, Y., Kwok, L.Y., Zhang, H., and Zhang, W. 2016. Assessing quality of *Medicago sativa* silage by monitoring bacterial composition with single molecule, real-time sequencing technology and various physiological parameters. *Scientific Reports*, 6: 28358.
- Borges, A.S., Oliveira-Filho, J.P., Simon, J.J., Palumbo, M.I.P., and Imerman, P.M. 2012. Slaframine toxicosis in Brazilian horses causing excessive salivation. *Equine Veterinary Education*, 24: 279-283.
- Battilani, P., Toscano, P., Van der Fels-Klerx, H.J., Moretti, A., Camardo Leggieri M., Brera, C., Rortais, A., Goumperis, T., and Robinson, T. 2016. Aflatoxin B<sub>1</sub> contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports*. 6: 24328.
- Blount, W.P. 1961. Turkey "X" disease. *Journal of British Turkey Federation*, 1: 52-61.
- Burkin, A.A., and Kononenko, G.P. 2018. Secondary metabolites of Micromycetes in plants of the family Fabaceae Genera *Galega*, *Glycyrrhiza*, *Lupinus*, *Medicago*, and *Melilotus*. *Biology Bulletin*, 45: 235-241.
- Dorszewski, P., Grabowicz, M., Szterk, P., Grajewski, J., and Twaruzek, M. 2013. Effect of fermentation on the microbiological and mycotoxicological status of alfalfa silage. *Medycyna Weterynaryjna*, 69: 622-625.
- Freire, L., and Sant'Ana, A.S. 2018. Modified mycotoxins: An updated review on their formation, detection, occurrence, and toxic effects. *Food and Chemical Toxicology*, 111: 189-205.
- Gaggiotti, M., Romero, L., Courvossier, S., Zapata de Basílico, M.L., Basílico, J., and Bruno, O. 1998. Presencia de hongos y micotoxinas en forrajes conservados. Resultados preliminares. [http://rafaela.inta.gov.ar/productores97\\_98/p43.htm](http://rafaela.inta.gov.ar/productores97_98/p43.htm). (consultado 24 febrero de 2021).
- Gimeno, A. and Martins, M.L. 2011. Micotoxinas y micotoxicosis en animales y humanos. 3ª Edición. Ed. Special Nutrients, Inc., Miami, USA.
- Gonçalves, R.A., Hofstetter, U., Schatzmayr, D., and Jenkins, T. 2018. Mycotoxins in Southeast Asian aquaculture: plant-based meals and finished feeds. *World Mycotoxin Journal*, 11: 265-275.
- Hodulíková, L., Skládanka, J., Mlejnková, V., Knot, P., Klusoňová, I., Horký, P., Konečná, K., Knotová, D., Nedělník, J., and Sláma, P. 2016. Effect of soil contamination of fodder and wilting on the occurrence of fungi and mycotoxins in alfalfa silages. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64: 1529-1536.
- Huerta-Treviño, A., Dávila-Aviña, J.E., Sánchez, E., Heredia, N., and García, S. 2016. Occurrence of mycotoxins in alfalfa (*Medicago sativa* L.), sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], and grass (*Cenchrus ciliaris* L.) retailed in the State of Nuevo León, México. *Agrociencia*, 50: 825-836.

Ismail, Z.B., Al-Nabulsi, F., Abu-Basha, E., and Hananeh, W. 2020. Occurrence of on-farm risk factors and health effects of mycotoxins in dairy farms in Jordan. *Tropical Animal Health and Production*, 52: 2371-2377.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA). 2015. D 2015-1 v1- Principales peligros por tipo de materia prima o aditivo. [https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/alimentacion-animal/2015-doccncaa1\\_2015vers1principalespeligrospordemateriaprimaoaditivo2015-04-23\\_tcm30-378652.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/temas/alimentacion-animal/2015-doccncaa1_2015vers1principalespeligrospordemateriaprimaoaditivo2015-04-23_tcm30-378652.pdf) (consultado 24 febrero 2021).

Marin, S., A.J. Ramos, G. Cano-Sancho, and V. Sanchis. 2013. Mycotoxins: Occurrence, toxicology, and exposure assessment. *Food and Chemical Toxicology*, 60: 218-237.

Mazuelas, B. 2017. Micotoxinas en forrajes. Un problema plural. *Afriga*, 132: 46-50.

Marques, M.F., Martins, H.M., Costa, J.M., and Bernardo, F. 2008. Co-occurrence of deoxynivalenol and zearalenone in crops marketed in Portugal. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 1: 130-133.

Naicker, D., Marais, G.J., Berg, H. van den, and Masango, M.G. 2007. Some fungi, zearalenone and other mycotoxins in chicken rations, stock feedstuffs, lucerne and pasture grasses in the communal farming area of Rhenosterkop in South Africa. *Journal of the South African Veterinary Association*, 78: 69-74.

Ogunade, I.M., Martinez-Tupia, C., Queiroz, O.C.M., Jiang, Y., Drouin, P., Wu, F., Vyas, D., and Adesogan, A.T. 2018. Silage review: Mycotoxins in silage: Occurrence, effects, prevention, and mitigation. *Journal of Dairy Science*, 101: 4034-4059.

Ramos, A.J. 2020. Micotoxinas. En: *La alfalfa. Agronomía y utilización*. Lloveras, J., Delgado, I. y Chocarro, C. (Eds.). Edicions de la Universitat de Lleida, y Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Lleida, España.

Rodríguez-Blanco, M., Ramos, A.J., Sanchis, V., and Marin, S. 2020. Usefulness of the analytical control of aflatoxins in feedstuffs for dairy cows for the prevention of aflatoxin M<sub>1</sub> in milk. *Mycotoxin Research*, 36: 11-22.

Rodríguez-Blanco, M., Ramos, A.J., Sanchis, V., and Marín, S. 2021. Mycotoxins occurrence and fungal populations in different types of silages for dairy cows in Spain. *Fungal Biology*, 125: 103-114.

Rossi, F., Gallo, A., and Bertuzzi, T. 2020. Emerging mycotoxins in the food chain. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 13: 7-27.

Skladanka, J., Adam, V., Zitka, O., Mlejnkova, V., Kalhotka, L., Horky, P., Konecna, K., Hodulikova, L., Knotova, D., Balabanova, M., Slama, P., and Skarpa, P. 2017. Comparison of biogenic amines and mycotoxins in alfalfa and red clover fodder depending on additives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14: 418.

Skrinjar, M., Stubblefield, R.D., and Vujčić, I.F. 1992. Ochratoxigenic moulds and ochratoxin A in forages and grain feeds. *Acta Veterinaria Hungarica*, 40: 185-190.



Tan, D.C., Flematti, G.R., Ghisalberti, E.L., Sivasithamparam, K., Chakraborty, S., Obanor, F., and Barbetti, M.J. 2011. Mycotoxins produced by *Fusarium* species associated with annual legume pastures and 'sheep feed refusal disorders' in Western Australia. *Mycotoxin Research*, 27: 123-135.

Tolosa, J., Rodríguez-Carrasco, Y., Ferrer, E., and Mañes, J. 2019. Identification and Quantification of Enniatins and Beauvericin in Animal Feeds and Their Ingredients by LC-QTRAP/MS/MS. *Metabolites*, 9: 33.

Twarużek M., Dorszewski, P., Grabowicz, M., Szterk, P., Grajewski, J., and Kaszkowiak, J. 2016. Effect of additives on the fermentation profile, microbial colonization and oxygen stress of alfalfa silages. *Journal of Elementology*, 214: 1161-1172.

Unión Europea. 2006. Recomendación 2006/576 de la Comisión, de 17 de agosto de 2006 sobre la presencia de deoxinivalenol, zearalenona, ocratoxina A, toxinas T-2 y HT-2 y fumonisinas en productos destinados a la alimentación animal. *Diario Oficial de la Unión Europea* L229 de 23.08.2006, pp.7-9.

Unión Europea. 2011. Reglamento 574/2011 de la Comisión, de 16 de junio de 2011, por el que se modifica el anexo I de la Directiva 2002/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo con respecto a los contenidos máximos de nitritos, melamina y *Ambrosia* spp., y a la transferencia de determinados coccidiostáticos e histomonóstatos, y por la que se consolidan sus anexos I y II. 7.6.2011 *Diario Oficial de la Unión Europea* L159 de 17.6.2011, pp.7-24.

Unión Europea. 2013. Recomendación de la Comisión, de 27 de marzo de 2013, sobre la presencia de las toxinas T-2 y HT-2 en los cereales y los productos a base de cereales. *Diario Oficial de la Unión Europea* L91 de 3.4.2013, pp.12-15.

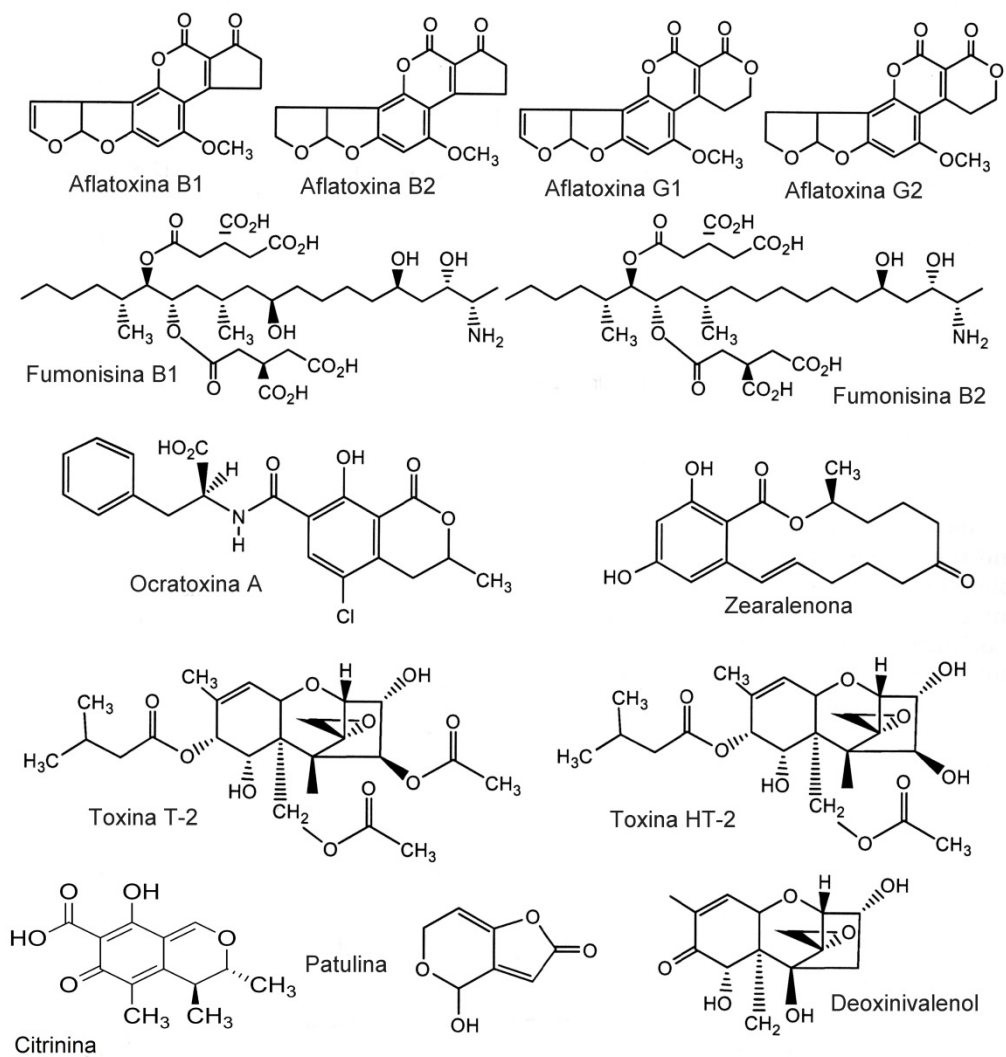


Figura 1.- Estructura química de las principales micotoxinas.

Tabla 1.- Principales efectos tóxicos de las micotoxinas en rumiantes.

Sistema/órgano afectado	Micotoxinas	Efecto tóxico
Sistema reproductor	ZEN, alcaloides del ergot, DON, T-2	Celos irregulares Baja tasa de concepción Quistes ováricos Pérdidas embrionarias Abortos Bajo desarrollo testicular Baja producción de esperma Infertilidad Vulvovaginitis Prolapso vaginal
Sistema nervioso	Alcaloides del ergot	Deterioro de la termorregulación Convulsiones
Sistema locomotor	DON, alcaloides del ergot	Laminitis
Sistema inmunitario	AFs, toxinas T-2 y HT-2, DON, OTA, alcaloides del ergot, ZEA	Disminución del estatus inmunitario Infecciones oportunistas
Aparato digestivo	Toxinas T-2 y HT-2, DON, AFB1, OTA, alcaloides del ergot, PAT	Gastroenteritis Hemorragias intestinales Deterioro de la función del rumen Diarrea Cetosis
Hígado	FBs, AFs	Apoptosis en hígado y retención biliar Daño hepático Niveles séricos de AST, GGT y bilirrubina elevados
Pulmones	FBs	Edema pulmonar interlobular
Riñones	OTA, FBs	Aumento del peso del riñón Lesiones renales
Producción y calidad de la leche	AFB1, toxina T-2, DON	Menor producción de leche Mastitis y aumento de células somáticas Leche con AFM1
Productividad	Toxina T-2, DON, alcaloides del ergot, FBs, AFs	Menor consumo de alimento Menor eficiencia alimenticia